Revista Internacional de
**Ingeniería**
**de Estructuras**

Vol. **23**, **2**, 209-226 (2018)

# EQUATIONS OF ATTENUATION COMPATIBLE WITH THE QUITO FAULT SYSTEM GMPEs

**Fernando Cañizares[(1)], Juan Carlos Singaucho[(2)]**

[(1)]Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador
fcanizares@gise-ec.com
[(2)]Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional-Quito, jcsingaucho@igepn.edu.ec

Received: December 2017. Accepted: March 2018

## ABSTRACT

The aim of this paper is the verification of the attenuation models: Atkinson&Boore 2008, Bindi et al. 2013, and Akkar & Bommer 2013, for cortical earthquakes registered in Quito city, through the RED-RENAC-IGEPN network. The systematization of the procedure described in the movement prediction equations, is done in Matlab programming language with the GUI Guide tool. For the handling and visualization of the results, the signals are transformed into parameters for use engineering, like spectral accelerations, using the Newmark's method. The Fourier transform is used to verify the signal frequency content, Scherbaum (2010) criteria are used for selection and validation described GMPEs.

**Keywords:** Accelerograms, Response Spectra, Design Spectra, Attenuation Equations

# ECUACIONES DE ATENUACIÓN COMPATIBLES A LA TECTÓNICA DE QUITO GMPEs.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la verificación de los modelos de atenuación: Atkinson&Boore2008, Bindi et al. 2013, y Akkar&Bommer 2013, para los sismos corticales registrados en la ciudad de Quito, mediante la red RED RENAC-IGEPN. La sistematización del procedimiento descrito en las ecuaciones de predicción del movimiento, se realizó con el lenguaje de programación matlab, con la interfaz gráfica Guide, para el ingreso y visualización de sus resultados, luego las señales se transformaron a parámetros de uso ingenieril, como las aceleraciones espectrales, utilizando el algoritmo de Newmark.

Para verificar el contenido de frecuencias de señales se utilizó la transformada rápida de Fourier. En tanto que para la validación de los modelos de predicción se tomó los criterios de Scherbaum (2010), mediante el índice log-Likelihood.

**Palabras Claves:** Riesgo Sísmico, Acelerogramas, Espectros de respuesta, Espectros de diseño, Ecuaciones de atenuación.

# 1 INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el origen de los sismos provienen de dos fuentes: La primera por subducción de la placa de Nazca, que induce a la placa Sudamericana y la segunda, debido a la presencia de fallas locales corticales, denominadas sistema de fallas de Quito (QFS).

En el caso de la ciudad de Quito, la desagregación de la amenaza muestra que los sismos de mayor intensidad provienen de las fallas corticales (Alvarado et al. 2014), por esta razón, para aportar al mejoramiento de los cálculos probabilistas de la amenaza, tanto en los estudios de la normas sísmicas, como en proyectos ingenieriles, es necesario acudir a la información de sismos de baja intensidad registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC).

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-15), en su primera emisión año 2011, Apéndice 10, sección 10.1. "Fundamentos del Estudio de Peligro Sísmico", afirma: "Las ecuaciones de predicción (GMPEs), se fundamentaron en modelos de predicción para fuentes intraplaca como: Boore-Atkinson (2008) y Akkar-Bommer (2010)". El presente trabajo pretende verificar la aplicación de los modelos Bindi et al. (2013) y Akkar&Bommer (2013), según clasificación mostrada en la figura 1.

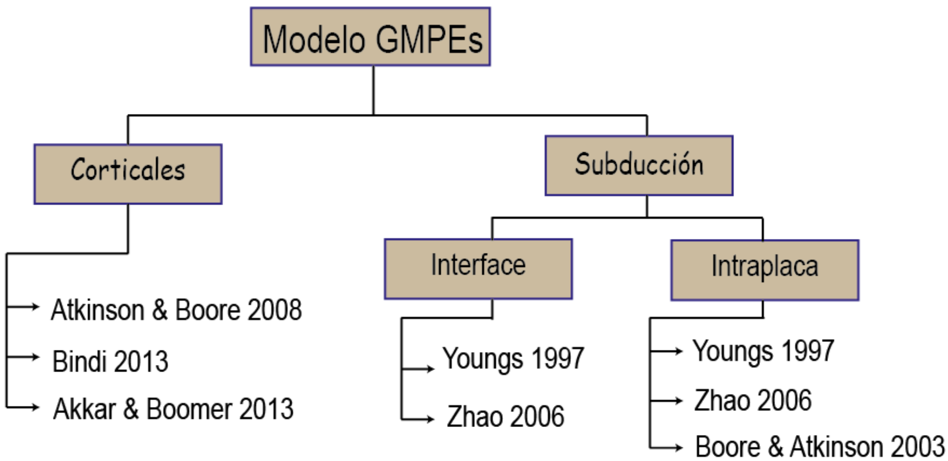



**Figura 1**. Modelos de predicción de GMPE's, válida para la ciudad de Quito

# 2 SISTEMA DE FALLAS CORTICALES EN LA CIUDAD DE QUITO (QFS)

Los sismos en la ciudad ocurren principalmente por el sistema de fallas de Quito (QFS), conocidas como: "Puengasí", "Ilumbisí–La Bota" y "Carcelén-El Inca", hacia el norte el sector de Guayllabamba se tiene los segmentos de falla "Bellavista-Catequilla", "Tangahuilla, R.Uravia F". y "R.Coyango F (GFS)".

La formación de estas fallas inversas se debe al movimiento del bloque formado por los valles de “Tumbaco” y “los Chillos”, los cuales forman un ángulo agudo, con el bloque de Quito, que al desplazarse generan esfuerzos cortantes. (Alvarado 2014).

La formación este plano de falla se debe al movimiento relativo entre un bloque 1 (Hanging wall), respecto al bloque 2 (Foot wall), generando esfuerzos cortantes en este plano, como se muestra en la figura 2.

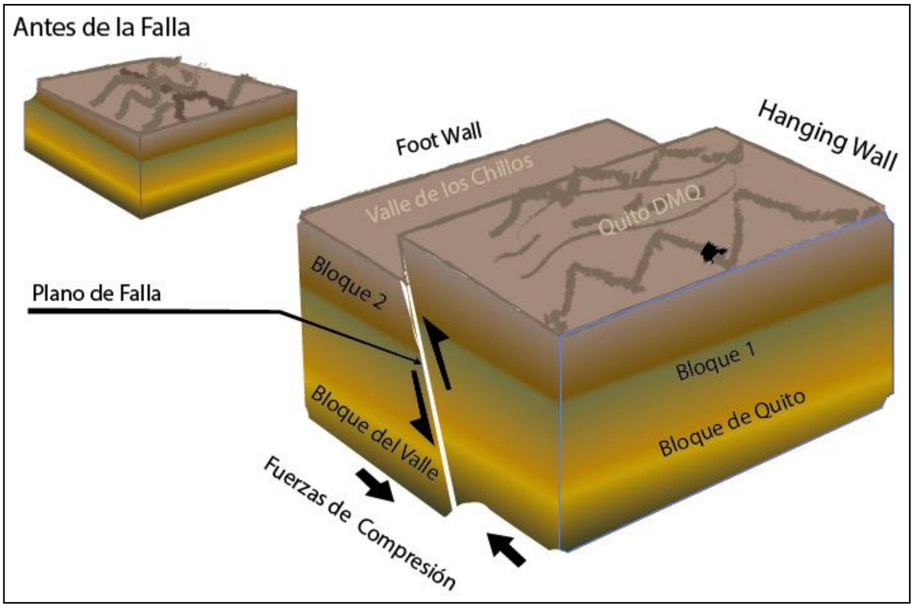



**Figura 2**. Falla inversa en la ciudad de Quito.

Dónde: el bloque1, es el que se desplaza (“Los Valles”-Foot wall), en tanto que, el bloque2, permanece fijo (“Quito”-Hanging wall)

En la tabla 1, se muestra los sismos ocurridos en la ciudad de Quito, entre los años 2014 al 2016, y registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC), perteneciente al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), la profundidad y el tipo de fallas se toma de los reportes emitidos por esta entidad.

**TABLA 1** Sismos locales registrados por red RENAC-IGEPN

| Sismo | Fecha | Mw | Depth (Km) | dt | Tipo de falla |
|---|---|---|---|---|---|
| Calderón | 12-08-2014 | 5.1 | 5.3 | 0.01 | Inversa |
| Puembo | 8-08-2016 | 4.6 | 7.3 | 0.01 | Inversa |
| Puembo-Tab. | 4-09-2016 | 4.7 | 4.7 | 0.01 | Inversa |
| Conocoto | 17-02-2011 | 4.2 | 12 | 0.01 | Inversa |
| Guayllabamba | 29-10-2011 | 4.1 | 3 | 0.01 | Inversa |
| Calderón 2 | 16-08-2014 | 4.7 | 7.7 | 0.01 | Inversa |

## 3 MODELO DE WELLS Y COPPERSMITH 1994

Mediante las ecuaciones de Wells y Coppersmith 1994, se calcula la longitud de la falla sub superficial **(RLD)** y el ancho de falla (**RW**).

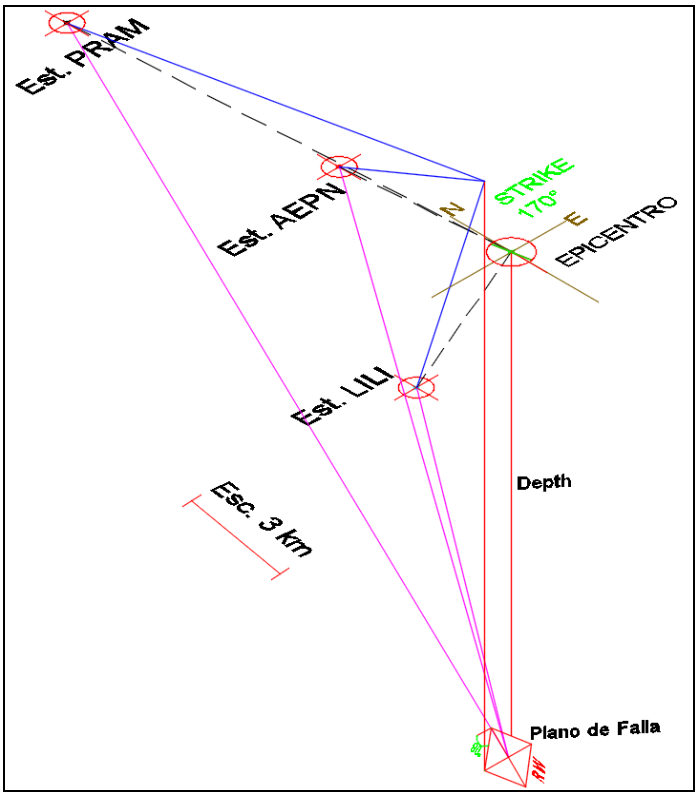



**Figura 3**. Representación del cálculo de las distancias (Conocoto 17/ 02/ 2011.)

En la tabla 2, se muestra las distancias, desde las estaciones instaladas, hacia el sitio de la falla con el modelo de Wells y Coppersmith 1994, a escala real mostrado en el esquema tipo de la figura 3, para los demás sismos descritos en la tabla 1, se procede de manera similar.

**TABLA 2** Distancias epicentrales y las estaciones

| Estación | Repi. (Km) | Rjb. (Km) | Rhyp. (Km) | PGA-NS (g) | PGA -EW (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| LILI | 5.14 | 5.38 | 13.49 | 0.014 | 0.017 |
| AEPN | 4.6 | 4.43 | 13.2 | 0.016 | 0.02 |
| PRAM | 12.04 | 11.65 | 17.3 | 0.043 | 0.036 |

Dónde:
Repi.= Distancia epicentral (Km)
Rjb.= Distancia Joyner Boore (Km)
Rhyp.= Distancia hipocentral (Km)
PGA= Aceleración pico del terreno de la estación (g)

## 4 FORMA TÍPICA DE LAS ECUACIONES DE ATENUACIÓN GMPES

La forma típica de la ecuación de predicción del movimiento fuerte es:

$$Y = C_1 + C_2 M + C_3 M^{C_4} + C_5 Ln\left[R + C_6 \exp(C_7 M)\right] + C_8 R + f_{fuente} + f_{sitio} + \sigma \quad (1)$$

Donde cada término de la ecuación representa:

$Y =$ Valor pico del movimiento fuerte
$C_2 M + C_3 M^{C_4}$ = Factor referente a la magnitud del sismo.
$C_5 \ln\left[R...\right] + C_8 R$ =Factor referente a la distancia.
$f_{fuente} + f_{sitio} =$ Influencia del tipo de fuente y sitio.
$C1, C2, ..., Cn$ = Constantes de regresión
$\sigma$ = Desviación estándar.

## 5 MODELO DE ATKINSON & BOORE 2008 (AB08)

Este modelo predice el movimiento fuerte del terreno (GMPE's) en función de la magnitud de momento, la distancia horizontal a la proyección del plano de falla denominado distancia Joyner-Boore, rango de la velocidad de onda de corte a los 30m de profundidad, y el tipo de fallamiento. La ecuación determina la aceleración (PGA) y velocidad (PGV) pico del terreno, así como el espectro de respuesta (PSA, al 5% amortiguamiento pseudo-aceleración), para periodos comprendidos entre 0.01s y 10s.

$$ln(Y) = F_M(M) + F_D\left(R_{JB}, M\right) + F_S\left(V_{S30}, R_{JB}, M\right) + \epsilon\sigma_T \quad (2)$$

### 5.1. Características del modelo (AB08)

Este modelo es válido para el rango de magnitud de Mw: 5-8 grados, la distancia entre 0-400km, distancia Rjb, debe ser menor a 200km, Vs30 (180-1300) m/s, periodo 0.001-10seg.

Las componentes de sismo se calcula con la media geométrica los registros seleccionados, además, no es recomendable para suelos duros, con velocidad de onda de corte Vs30>1500m/s.

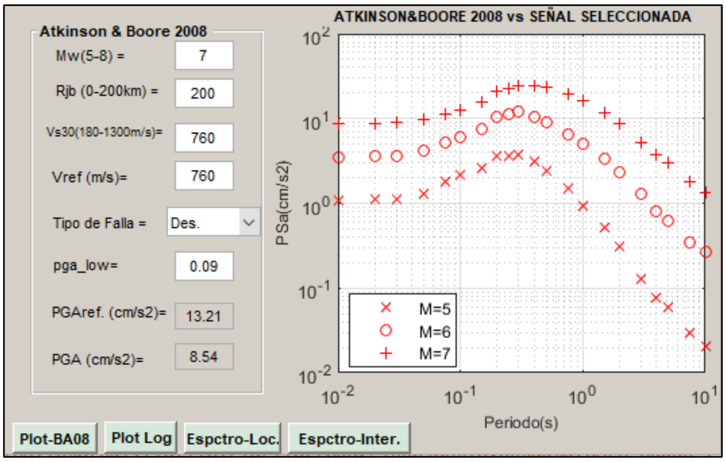



**Figura 4**. Interface programa GMPRs-EPNv1, modelo de Atkinson & Boore 2008.

En la figura 4, se muestra el espectro de respuesta, con la validación del programa GMPE-EPN.v1, de acuerdo a los siguientes datos: Magnitudes Mw=5, 6 y 7, distancia $R_{jb}$=200km, velocidad de onda de corte $Vs_{30}$=760m/s, y tipo de falla desconocida.

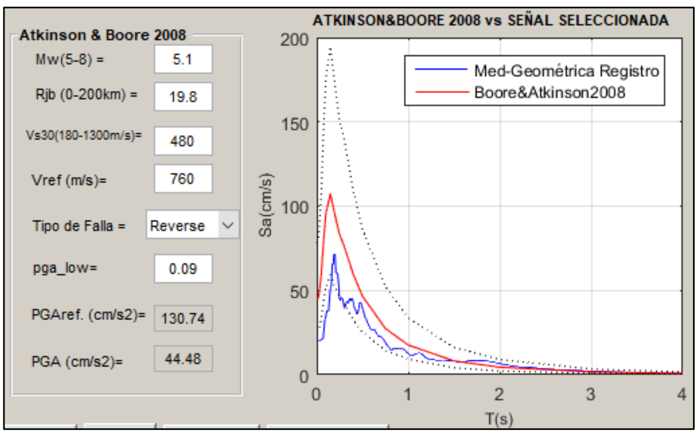



**Figura 5.** Sismo Calderón estación AEPN vs GMPEs

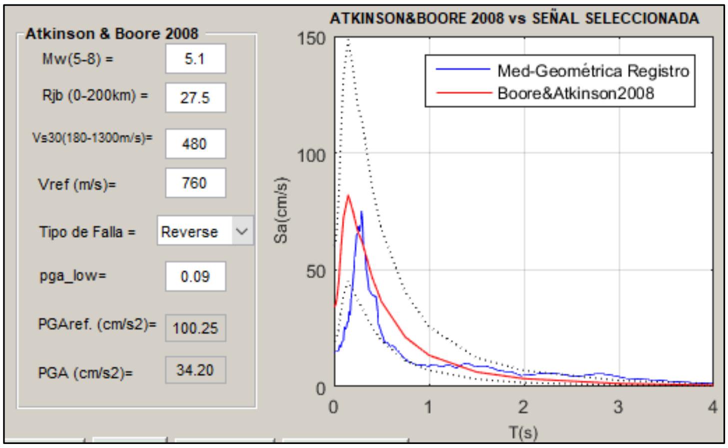



**Figura 6.** Sismo Calderón estación LILI vs GMPEs

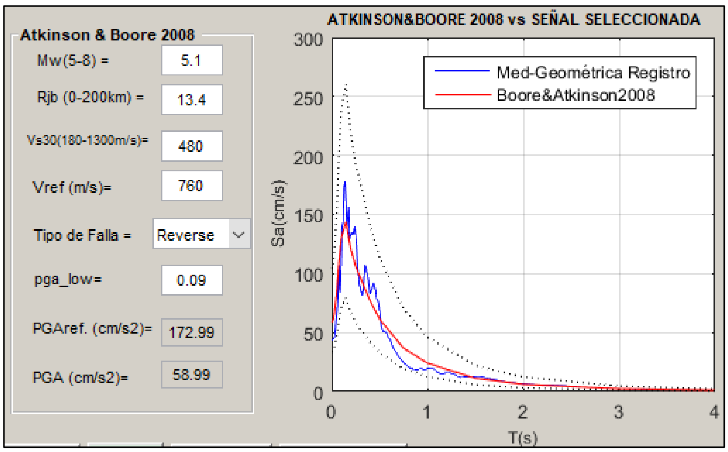



**Figura 7**. Sismo Calderón estación PRAM vs GMPEs

En las figuras 5, 6 y 7, se muestra la comparación de los espectros de respuesta, que mejor se ajustan al modelo de predicción de Atkinson&Boore 2008, los eventos están dentro de la desviación estándar, denominados "Sismo Calderón estación AEPN", "Sismo Calderón estación LILI" y "Calderón estación PRAM".

La ubicación de las estaciones "AEPN", "LILI" Y "PRAM", están dentro del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito-Ecuador.

# 6 MODELO DE BINDI ET AL. 2013 (B13)

Este modelo de predicción del movimiento fuerte (GMPEs), fue desarrollado para Europa del Este, derivado de un fuerte banco de datos, especialmente de Italia (ITACA) y Turquía. (RESORSE DATA BANK), Incluyen 5882 señales, de 1814 sismos ocurridos en esta zona, registrados entre 1967 hasta el 2011, con rangos de magnitudes entre 2.8 y 7.8.

Los parámetros que calcula este modelo es la aceleración pico del terreno PGA, PGV y espectro con la pseudo-aceleración al 5% de amortiguamiento vs el periodo, entre 0.002 y 3Seg.

La forma funcional del modelo es:

$$log_{10} Y = e_1 + FD(R, M) + FM(M) + FS + F_{sof} \quad (3)$$

Y, está dado en cm/s$^2$.

Donde la función de la distancia FD, está dada por la siguiente formula:

$$FD(R, M) = [c_1 + c_2(M - M_{ref})] * log_{10}(\sqrt{R^2 + h^2}/R_{ref}) - c_3(\sqrt{R^2 + h^2} - R_{ref}) \quad (4)$$

La función de la magnitud FM está dada por:

$$FM(M) = \begin{cases} b_1(M - M_h) + b_2(M - M_h)^2 & para\ M \leq M_h \\ b_3(M - M_h) & para\ \ M > M_h \end{cases} \quad (5)$$

Para FS:

$$FS = \gamma log_{10}(Vs_{30}/V_{ref}) \quad (6)$$

Donde $V_{ref}$=800m/s, determinado por regresión, según modelo de Bindi et al. 2013.

## 6.1 Características del modelo de Bindi Et Al. 2013.

El rango de magnitud (Mw) entre 4 a 6.9; distancia a la fuente entre 0-200km, estilos de falla validos: Normal, Reverse, Strike-slip y falla desconocida., rango del periodo: 0.02-3.0 seg y el tipo de suelo se clasifica de acuerdo al Eurocódigo EC8.

El modelo cuenta con cuatro tipos fuentes sismogénicas de tipo normal con 593 registros, inversa con 87 registros, strike-slip con 61 registros y falla desconocida 28 registros. Además el cálculo de las componentes mediante el promedio aritmético de los dos registros seleccionados (mean).

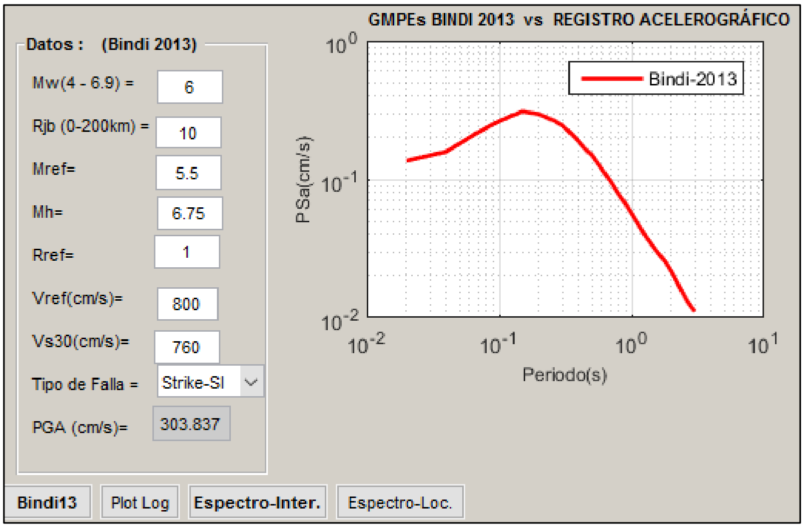



Figura 8. Interface programa GMPRs-EPNv1, para el modelo de Bindi et al. 2013.

En la figura 8, se muestra el espectro de respuesta calculado con el programa GMPE-EPN.v1, en el programa, obtenida con la ecuación de atenuación propuesta por Bindi et al. (2013). De acuerdo a lo siguientes datos: Mw=6, distancia $R_{jb}$=10km, velocidad de onda de corte $Vs_{30}$=760m/s y falla tipo strike slip.

En las figuras 9,10 y 11, se realiza la comparación de los sismos locales registrados en Quito y modelo de Bindi et al 2013. Con las señales más cercanas al modelo de predicción.

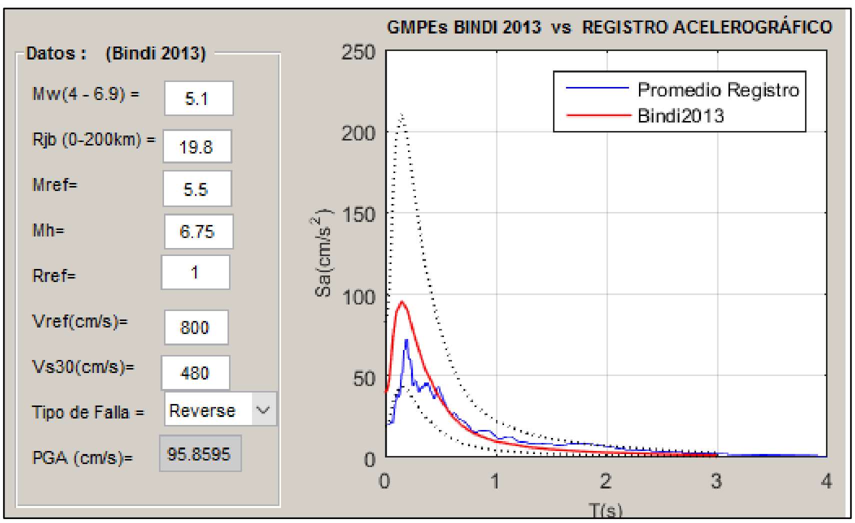



Figura 9. Sismo Calderón estación AEPN (a)

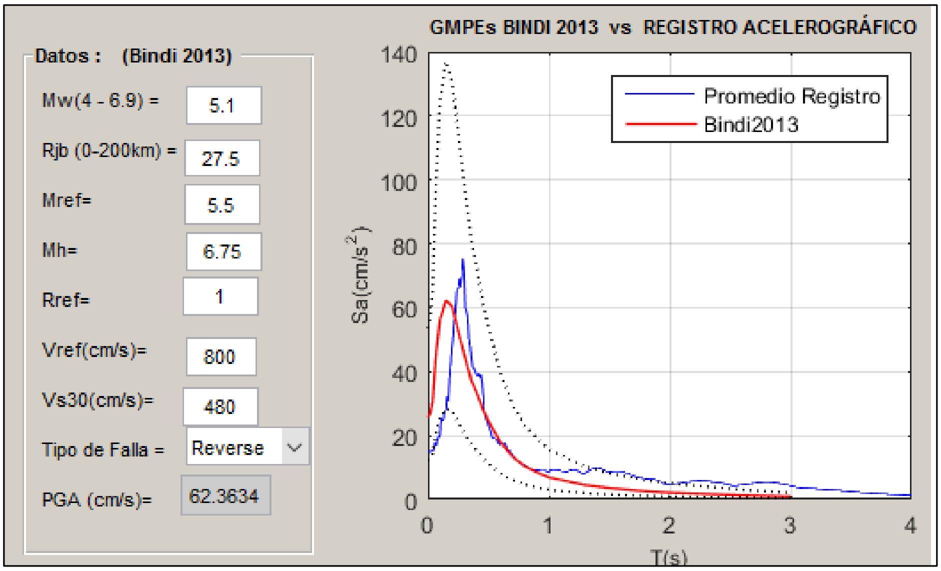



**Figura 10.** Sismo Calderón estación LILI (b)

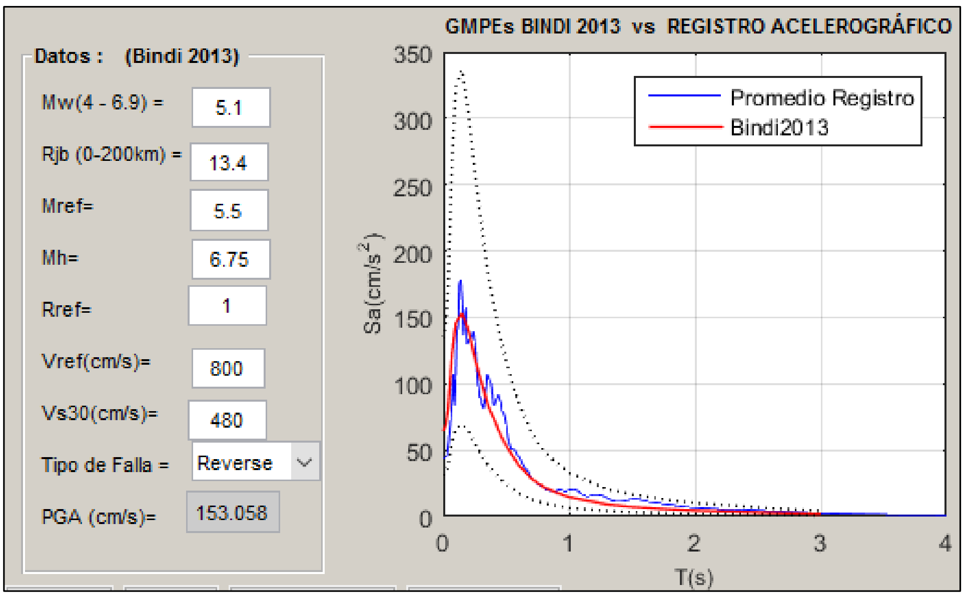



**Figura 11**. Sismo Calderón estación PRAM

# 7 MODELO DE AKKAR &BOMMER 2013

Es un modelo actual de movimiento fuerte para la predicción del espectro elástico de respuesta en términos de pseudo aceleraciones espectrales, PGA y velocidad, usando la base de datos de Italia y Europa, este modelo incluye, la amplificación no lineal del suelo en función de la velocidad de onda de corte Vs30, con aceleración referencial pico en la roca (Vref).

El rango de magnitud de momento entre 4 hasta 7, así como, la distancia de aplicación cubre los 200km de extensión, el rango de periodos de 0.01 a 4seg. Considera diferentes modelos de distancia a la fuente.

La forma funcional de predicción del movimiento fuerte es:

$$\ln(Y) = ln[Y_{REF}(M_W, R, SoF]) + \ln[S(V_{S30}, PGA_{REF})] + \varepsilon\sigma \qquad (7)$$

## 7.1 Características del modelo (AB13)

La Magnitud valida está en el rango de Mw: 4 a 7.6 grados, tipo de fallas: normal, inversa, strike slip, distancia Rjb entre 0 - 200km, profundidades menores a 30 km. (Depth), para sismos corticales la clasificación del suelo de acuerdo al Eurocódigo: Vs30 (150-1200) m/s.

El modelo incluye el efecto de amplificación no lineal de sitio en función $Vs_{30}$, las respuestas obtenidos en términos de PGA, PGV y periodos en el rango de T=0.01– 4seg. La definición de la componente horizontal e mediante la media geométrica de los registros en las estaciones.

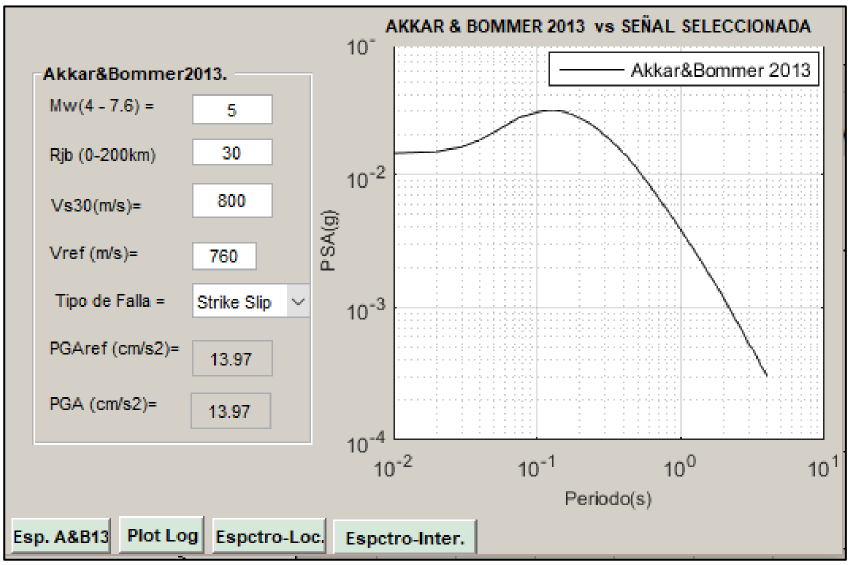



**Figura 12.** Modelo de Akkar&Bommer 2013, GMPE's EPNv1

En la figura12, se muestra el espectro de respuesta calculado con el programa GMPE-EPNv1. Con la ecuación de atenuación propuesta por Akkar&Bommer (2013), de acuerdo a los siguientes datos: Magnitud Mw=5, distancia Rjb=30km, velocidad de onda de corte $Vs_{30}$=800m/s.

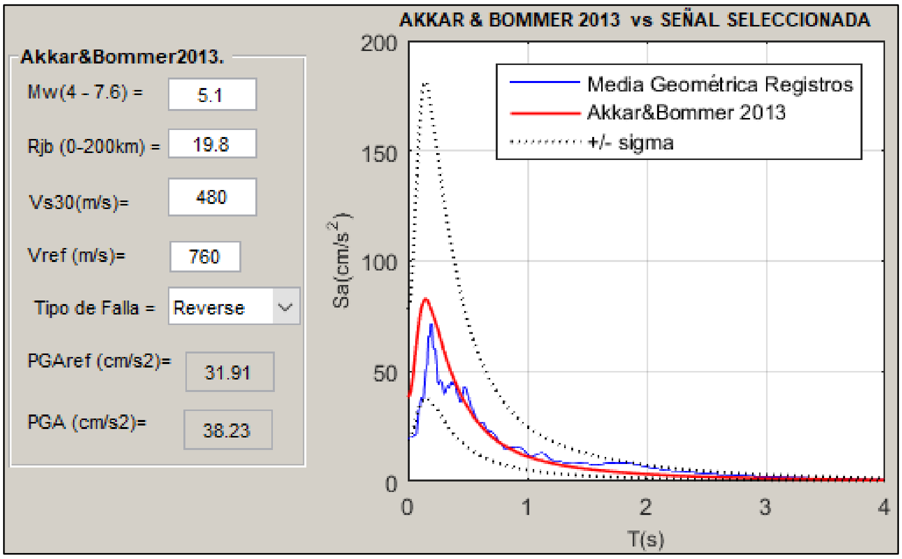



**Figura 13**. Sismo Calderón estación AEPN.

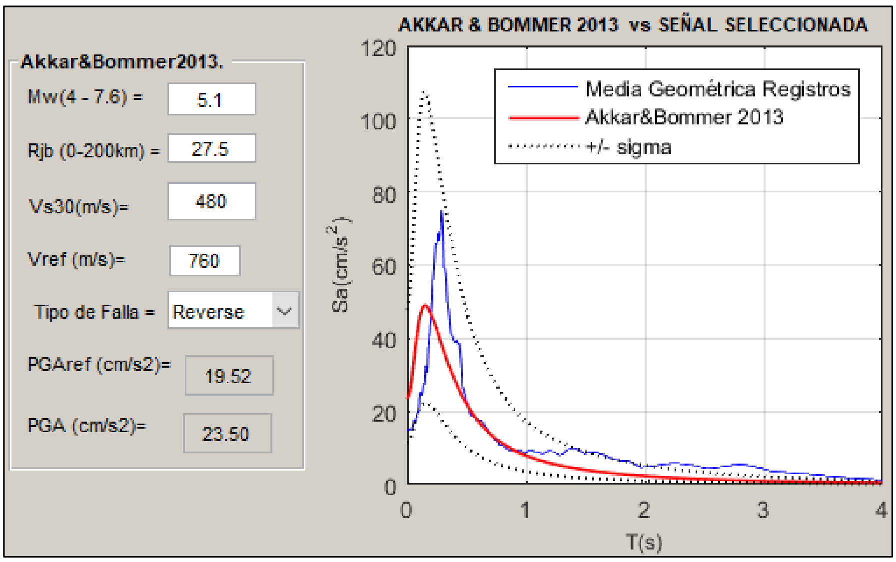



**Figura 14.** Sismo Calderón estación LILI

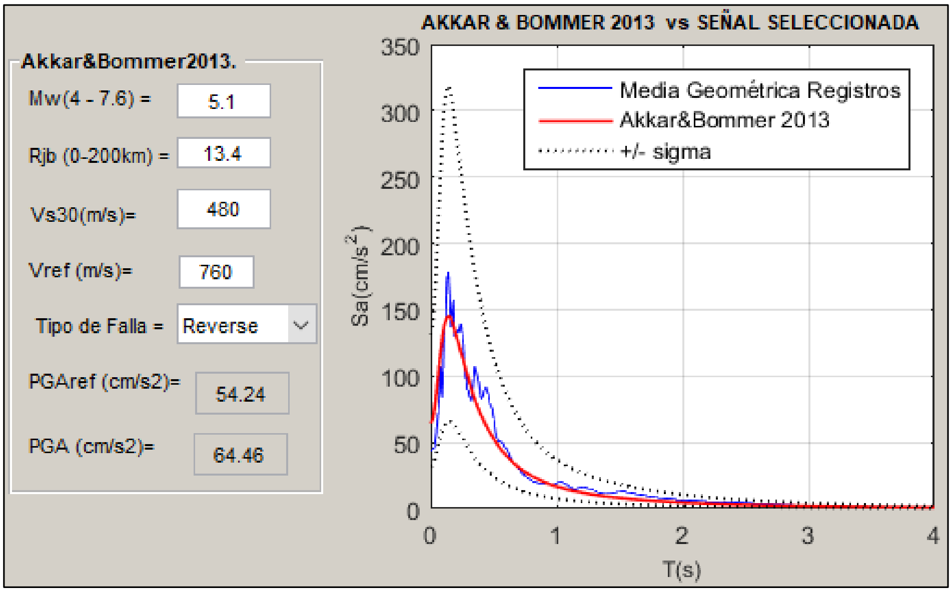



**Figura 15**. Sismo Calderón estación PRAM

En las figuras 13,14y 15. Se muestra los espectros de respuesta entre los sismos que mejor se ajustan a la ecuación de atenuación son: Calderón estación AEPN, Calderón estación PRAM, Calderón Replica estación AEPN, Calderón Replica estación PRAM, corroborando el mismo comportamiento con los modelos de Atkinso&Boore 2008 y Bindi et al 2013.

## 8 ANÁLISIS DE RESULTADOS ENTRE GMPEs Y SEÑAL REGISTRADA

El análisis de resultados se realiza mediante el índice numérico estadístico log-likelihood, y representa la comparación entre dos funciones, el grado de cercanía y similitud entre dos funciones f(x) y g(x), en este caso la relación entre el espectro de los sismos registrados(fx) y el espectro de la ecuación de atenuación propuesta g(x), el cual nos servirá para visualizar el comportamiento de la aceleración en los periodos (PGA, 0.1 , 0.5 , 1 y 2 segundos), que finalmente nos servirá para recomendar la mejor ecuación de atenuación .

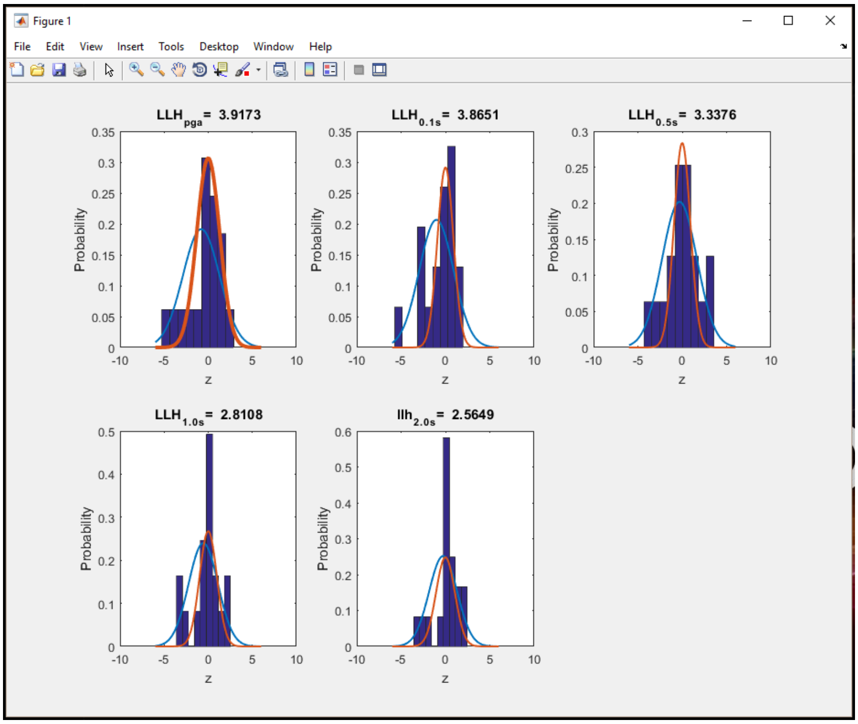



**Figura 16**. Índice log-likelihood (LLH) para Atkinson & Boore 2008

La figura 16, representa el cálculo del índice numérico log-likelihood (LLH) en el programa Matlab para el modelo de Atkinson&Boore 2008. La función de densidad de probabilidad de color "marrón", significan los espectros de respuesta obtenidos con la ecuación de atención propuesta (GMPEs), en tanto que la otra función de densidad de color "azul" representan los espectros de respuesta de las señales registradas o seleccionadas, este índice resulto: LLH-PGA= 3.9173, es decir, es la diferencia logarítmica entre las dos funciones de densidad de probabilidad. Este mismo proceso se sigue para los periodos: 0.1, 0.5, 1 y 2 segundos respectivamente.

Los histogramas de color "azul oscuro", es una ayuda del algoritmo de programación para representar las variables de las funciones de densidad de probabilidad respectiva en el intervalo de interés.

Una manera de verificar que el modelo estadístico sea adecuado, es que en los periodos bajos (PGA y 0.1 s), este índice debe ser mayor; LLH=3.1050 (los modelos GMPEs, no predicen adecuadamente en periodos bajos, en relación al valor real registrado), en tanto que el índice LLH debe ser menor; LLH=2.2702, para valores de periodo alto (2 segundos).

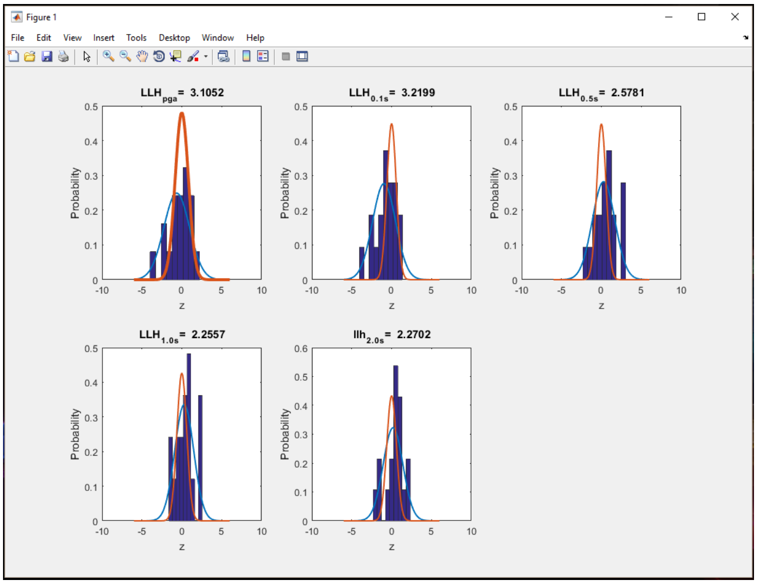



**Figura 17**. Índice log-likelihood (LLH) Bindi 2013

El mismo análisis de la figura 16, se lo realiza para las figuras 17 y 18, el cual representa el cálculo del índice LLH, para los modelos de Bindi et al (2013) y Akkar&bommer 2013. Para los periodos de interés (PGA, 0.1, 0.5, 1 y 2 segundos)

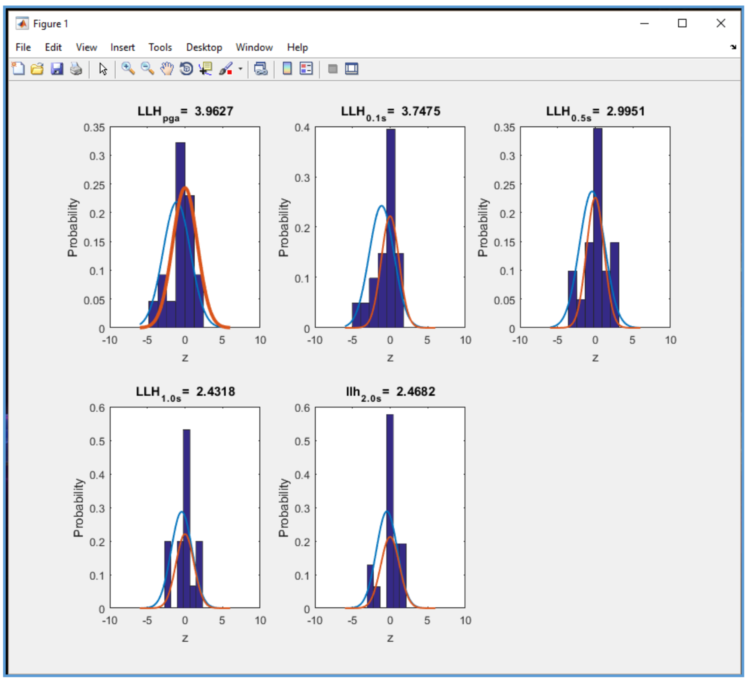



**Figura 18.** Índice log-likelihood (LLH), para Akkar&Bommer 2013

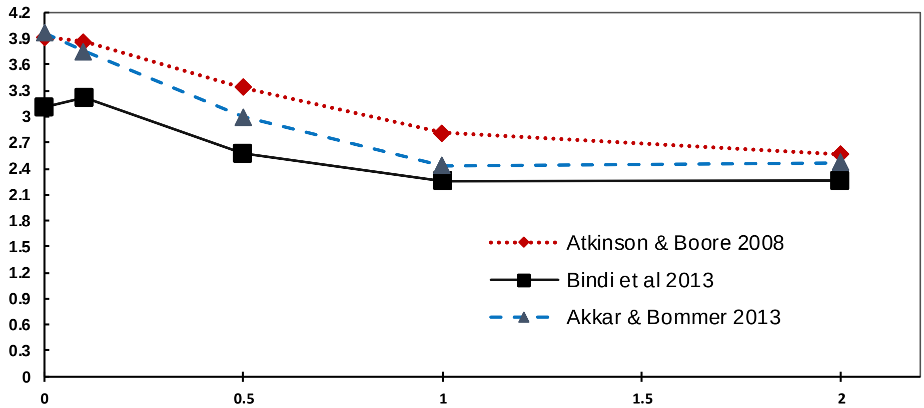



**Figura 19.** Índice log-likelihood de los GMPEs para sismos corticales

La figura 19, se obtiene graficando los pedidos de interés (PGA, 0.1, 0.2, 0.5, 1 y 2 segundos, mostrados en la columna 1 de la Tabla 3, con los respectivos valores calculados de LLH (Columnas 2,3 y 4 de la Tabla 3), para los diferentes modelos de atenuación y se generan una líneas de tendencia para poderlos comparar gráficamente.

Tabla 3. Valores log-likelihood de las GMPEs para sismos corticales.

| PERIODO | ÍNDICE LIKELIHOOD (LLH) PARA GMPE s Y REGISTROS CORTICALES | | |
|---|---|---|---|
| | Atkinson&Boore 2008 | Bindi 2013 | Akkar&Bommer 2013 |
| 0.001 | 3.9173 | 3.1052 | 3.9627 |
| 0.1 | 3.8651 | 3.2199 | 3.7475 |
| 0.5 | 3.3376 | 2.5781 | 2.9951 |
| 1 | 2.8108 | 2.2557 | 2.4318 |
| 2 | 2.5649 | 2.2702 | 2.4682 |

El menor índice log-likelihood (LLH), mostrado en la figura 19, y en la Tabla 3, es el modelo Bindi et al. (2013). Por tant, este modelo es el que mejor se ajusta entre los datos reales y los calculados, sin embargo, los modelos de Atkinson &Boore (2008) y Akkar& Bommer (2013), también muestran una buena tendencia.

# 9 CONCLUSIONES

Es importante el cálculo de la longitud y forma de la falla, mediante las ecuaciones de Wells y Coppersmith (1994), (Rjb). Este dato influye en la forma de las respuestas esperadas, debido a que las fuentes sismogénicas corticales están cerca de la ciudad de Quito (5-25Km).

De acuerdo al modelo basado en el análisis estadístico log-likelihood (LLH), mostrado en la figura 23, el menor índice de ajuste entre los valores reales y calculados, es la ecuación de atenuación de Bindi et al. (2013), para sismos de origen cortical. Por lo tanto, se podrá utilizar este modelo para el análisis del riesgo sísmico para la ciudad de Quito.

Se recomienda que para una futura actualización de la norma Ecuatoriana de Construccion (NEC 15), o para estudios de riesgo sísmico de Quito o de ciudades con características geológicas similares, se pueda utilizar los modelos de atenuación de Akkar y Bommer 2013 y Bindi 2013. Los mismos que incorporan nuevos parámetros en las ecuaciones como: la amplificación lineal y no lineal del suelo, además se cuenta con la validación de los eventos reales registrados en la red RENAC, del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2015).

Los modelos seleccionados son aplicables para sismos corticales entre rangos de magnitud “bajos” (Mw=4-5), como los registrados en la ciudad de Quito.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ingeniero Juan Carlos Singaucho Armas, Profesor de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional, ya que el presente trabajo corresponde a parte de la tesis de Maestría en Estructuras, con su gran apoyo llego a concluirse de manera satisfactoria.

## 10 REFERENCIAS

**1. Akkar, S., Sandıkkaya, M. A. and Bommer, J. J. (2013).** Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East, Bull Earthquake Eng, Springer Science+Business Media Dordrecht 2013. 10518-013-9461-4

**2. Alvarado (2012).** Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur, Thése Pour obtener le grade de Docteur Institut de Sciences de la Tierre de Grenoble (ISTerre).

**3. Yepes H., Alvarado A., Segovia M., Egred J., Ruiz M., Ouiller B., Chatellain J., Villagómez D., (2001).** El sismo de Pujilí (5.9 Mw) ,28 de marzo de 1996. Revista Politécnica, vol. XXII. No. 2. pp. 107-114.

**4. Alvarado, A., L. Audin, J. M. Nocquet, S.Lagreulet, M. Segovia, Y. Font, G.Lamarque, H. Yepes, P. Mothes, F. Rolandone, P. Jarrin, and X. Quidelleur (2014).** Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity ©2014. American Geophysical Union. All Rights Reserved.

**5. Atkinson, G. and Boore, D. (2014).** Atenuation of Fourier Amplitudes for Rock Sites in Eastern North America, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 104, No. 1, pp. 513–528, February 2014.

**6. Baker, J. (2013)** Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis, White Paper Version 2.0, 79 pp. Topic Hazard/Risk.

**7. Bindi D, Massa M, Luzi L, Ameri G, Pacor F, Puglia R, Augliera P (2013)** Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component

of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods up to 3.0 s using the RESORCE dataset. Bull Earthquake Eng. Doi:10.1007/s10518-013-9525-5

**8. Boore, D. and Atkinson, G. (2008).** Ground Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV AND 5%-Damped PSA at spectral periods between 0,01s and 10s. Earthquake Spectra, Volume 24, No. 1, pages 99–138, February 2008; Earthquake Engineering Research Institute.

**9. Boore, D. M. and Atkinson, G. M., (2007**). Boore-Atkinson NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peak and Spectral Ground Motion Parameters, PEER Report 2007/01, Pacific Earthquake Engineering Center, Berkeley, California.

**10. Boore, D. and Atkinson, G. (2008**). Notes on the Equation to Use for Pga4nl. C:\peer_nga\report\notes_on_pga4nl_in_boore_atkinson_eq_spectra_2008_(v1.0). doc Viewed/modified on 3/21/2008.

**11. Cañizares Ortega** FF (2017) Selección de ecuaciones de atenuación (GMPE's) compatibles con el Sistema de fallas de Quito, Tesis Previa a la Obtención de Magister en Estructuras. Facultad de Ingeniería Civil EPN 2017.

**12. Choiu, B., Youngs R. (2013).** Update of the Choiu and Youngs NGA, ground motion model for average horizontal component of peak ground motion and response, PEER Report 2013/07, 105p., Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkeley, CA.

**13. NEC15 (2015).** Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico Diseño Sismoresistente Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda 2014, código. NEC-SE-DS.

**14. Scherbaum, F., Kuehn, N., and Zimmerman, B. (2009**). "Earthquake Focal Mechanism";TheWolframDemonstrationsProject http://demonstrations.wolfram.com /EarthquakeFocalMechanism/ Published December 10, 2009

**15. Scherbaum, F., Bommer, J. J., Douglas, J., Cotton, F., Bungum, H., Fäh, D. (2010):** On the Selection of Ground-Motion Prediction Equations for Seismic Hazard Analysis. - Seismological Research Letters, 81, 5, pp. 783—793.

**16. Singaucho (2015)** Notas de clases de la materia de Riesgo Sísmico. Maestría en Estructuras. Escuela Politécnica Nacional Presentaciones 2015 B.

**14. Wells, D. L. and Coppersmith, K. J. (1994).** "Analysis of Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Area, and Surface Displacement," Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974-1002.

**15. Yepes H, (2014).** "Breve Reseña de los Sismos Provenientes de la Falla Geológica de Quito que han Afectado a la Capital". Grenoble, 13 Agosto 2014. Instituto Geofísico EPN.